

# 섬유 콘크리트에 대한 특기 시방서 적용 실제

## Tailoring Fibre Concretes to Special Requirements

C.D.Pomeroy and  
J.h.Brown

孫基詳

건설안전기술사

공학박사

한국산업안전공단 산업안전교육원 교수

국내에서 1989. 2. 건설분야 국책과제중 섬유보강 콘크리트 연구발표가 처음으로 있었고, 여기에 폴리머 콘크리트 연구는 90년, 91년, 92년, 한국콘크리트학회지에 발표되었고 이번에 1992. 8. 전북대학교 한·일 공동세미나 발표에서 관심있는 국내학자들도 참여하였다.

이상의 국내흐름과 관련하여 구미지역에서 1975년 심포지움 발표논문 중에서 건설과 직접 관련이 되고 또한 이미 17년전에 발표된 이 분야 논문 한편을 소개하여 현재의 이 분야 엔지니어의 검토와 향후방향을 세우는 계기가 되었으면 한다.

상기의 한·일 공동세미나 제목은 “콘크리트·폴리머 복합체의 개발 및 이용”이었고 여기에는

- ① 건설기술연구 개발 동향과 필요성
- ② 폴리머 시멘트 몰탈 및 콘크리트의 새로운 이용방향
- ③ 폴리머의 강도, 내구성, 파괴
- ④ 콘크리트용 도포침투재의 개발방향
- ⑤ 프리캐스트 폴리머 콘크리트의 개발방향
- ⑥ 콘크리트 철근의 부식과 토목보수분야의 폴리머 시멘트 이용
- ⑦ 시멘트 몰탈용 아크릴 라텍스의 필름형성 특성 연구
- ⑧ 조강 폴리머 몰탈을 이용한 터널건설 로봇
- ⑨ 신소재를 이용한 통신용 프리캐스트 맨홀 개발방향
- ⑩ 프리캐스트 폴리머 콘크리트 재개발
- ⑪ 폴리머 침투 탄소섬유 보강 시멘트 복합체의 공학적 특성
- ⑫ 경량폴리머 시멘트 콘크리트 개발
- ⑬ 섬유보강 폴리머 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구

등이 포함되었다.

〈필자 註〉

## 1. 서론

비용절감이 가능하면서 보다 경량인 단면이나 보다 긴스팬을 갖게 되는 것으로 재래의 콘크리트가 사용되는 조건내에서 좀더 대담한 방식으로 사용되게 하는 개선재료 특성을 갖는 통상의 콘크리트로서 섬유 콘크리트를 고려하여 생각하는 경향이 있다. 재래식 콘크리트가 전통적으로 사용되지 않는 부문에, 아니면 어떤식으로든 부적절한 부문에만 존재하는 것이다.

섬유 콘크리트의 효율적 이력은 많은 인자들, 즉 섬유의 형태, 특징, 콘크리트 배합, 구조부재의 크기 등에 따라 좌우된다. 이들 매개변수의 상호영향에 관한 지식은 특기 문제점 해결방안을 얻게 할 수 있지만 섬유 콘크리트로부터 구한 광범한 특성들은 아주 대단하여 개조되지 않은 콘크리트에 대한 비례적 개선으로 표현되는 재료특성의 단순한 편집은 섬유 콘크리트의 사용가능성을 선전하기 보다는 오히려 모호하게 할 수 있다.

완전이력 시방서가 필요한 특기 문제를 고려하고 상이한 재료와 구조적 해결방안들을 비교하는 것이 좀더 유익할 수 있다. 최종선택을 비용과 사용자 기호에 바탕을 두다보면 만족한 만한 해결방안이 여러가지 나올 수도 있다.

물론 특기문제들을 해결하기 위한 시도가 잘못 전달되지 않기 위하여서는, 몇가지 기본적인 연구가 진행되어야 한다. 특기 문제점들을 해결함에 있어 섬유 콘크리트에 관한 난이점은 해결방안이 생기기도 전에 기본연구를 착수토록 해야하는 의문에 부딪힐 수도 있다.

이 논문에서는 섬유가 여러가지 문제해결에 사용되어 왔던 예들을 3가지 고려하고 있다. 첫 번째 고강도 폴리머(polymer)콘크리트의 바람직스럽지 못한 취성이 강섬유를 함유시키므로써 보상될 수 있는 방법을 제시하고 있다.

여기서 특별적 용법이 채택되는 것은 아니지만 결점 처리를 하는 섬유사용이 제시되고 있다.

이 논문의 주요부분은 갱내 지붕 이동을 통해 하는데 사용되는 목재 지보공으로 작용을 재생하는데 시멘트 바탕재료가 어떻게 적용되는지를 보여주고 있다. 전통적인 목재 지보공 작업이 콘크리트 대체물이 시공될 수 있는 시행시방서를 제공해주는 이 문제는 아주 흥미를 끌고 있다.

마지막 예로써 강섬유 보강 콘크리트로 주철 중간제 맨홀(Cast-Iron medium duty manhole)을 대체에 관한 간략한 언급이 되고 있다. 이 경우 설계 기준이 덮개가 지탱해야 하는 하중을 명기한 영국규준(British Standard)의 형태로 이용되었다.

## 2. 강섬유 폴리머 개조 콘크리트(Steel Fibre Polymer Modified Concrete)

이 예는 섬유 콘크리트 재료 특성의 측정과 평가에 관한 몇가지 문제점들을 강조해 주고 있다. 폴리머 함유 콘크리트의 개조는 강도 특히 인장강도를, 특히 물시멘트비(W/C)비가 높은 콘크리트에 대해서는 기존 콘크리트 값 이상으로 증가시키고 있음을 보여주고 있다(1). 강도증가로 인해 재료의 취성이 증가되고 크랙이 급속히 전개된다. 이 특징은 고강도 폴리머 개조 콘크리트의 잠재적 사용을 엄격히 제한할 수 있고, 수용구조 재료와 같은 재래의 철근 콘크리트 즉 고유 연성을 갖는 특징들 중의 하나를 제거하는 것인데, 과다하중을 받을때 피로가 구조요소의 대 파괴에 이르지 않는 국부파괴로 나타나고 있다.

고로 요구된 문제는 폴리머 처리로 주어진 잇점의 손실이 조금도 없이 어느정도의 연성을 섬유첨가로 회복하는지 이다. 폴리머 개조 콘크리트는 얇은 단면이나 사용하고, 인장이나 충격 강도가 압축강도 보다 훨씬 더 중요할 때나 사용할 정도로 아주 비용이 비싸게 든다.

재료의 사용 가능성, 즉 휨을 받는 소행보의 이력에 직접 관련한 훨씬 더 제한적인 목적에 맞추어 폴리머 콘크리트의 특성에 섬유 영향에 관한 일반적인 연구로부터 문제가 단순화되었다. 폴리머 처리에 관한 완전 상세사항들이 제시되어 있다(1).

휨 테스트는 황동도막 강섬유(0.13mmΦ \* 15mm)를 1.5%분량까지 보강된 폴리머(PMMA) 개조 몰탈보에 관한 광범하게 시행되었다. 하중 처짐 곡선(그림1)은 강섬유 0.5% 씩 균등함량이 어떻게 급격한 파괴를 유연한 파괴로 변화시키는지를 분명하게 보여준다. 전달된 최대하중으로부터 선정된 보의 “최대 유효강도”달성에 보충 역할을 하는 것으로 관측되었다.

그러므로 휨 테스트는 섬유가 고강도 폴리머 콘크리트에 어느정도 연성을 회복시켜 주는 것을 보였지만, 이들 사실을 특기 실무문제에 관계시키기는 곤란하다. 1/5% 섬유를 함유하는 보의 상승하중 특성(그림1)과 0.5% 함유 시험편에 대한 꾸준하지만 계속적인 하중 강하와의 차이점은 실무적인 중요성을 갖지만 파괴형태 차이는 재료 특성에 기인하기 보다는 II 시험편의 기하(예를 들면 보의 크기)에 기인한다. 이 문제는 (2)에서 토의되었고 1.5% 섬유함유보의 두께에 적용되지 않고 재료 상수들도 아니다.

충격손상에 대한 재료저항은 시험편이 완전히 평단면으로 인장 작용상 교차하여 분리할 필요가 있는 총작용량으로부터 결정된, 파괴에너지로 평가되었다.

이 매개변수는 실제에서 다수의 균열발생을 완전히 피할 수 없을지라도 아주 기본적인 재료 특성이다. 그러나, 섬유보강 폴리머 개조 모르타르 보에 대해 구한 값들은 휨보에서 확대 전개된 에너지 값과 밀착관계를 갖고 있었다.

휨 파괴하중 커브의 형상을 제외한 중재거리(최대하중에 상응하는 값보다 큰것)는 예측될 수 없다. 휨에서 확대 전개된 에너지는 이로 인한 섬유에 의해 전달된 하중이 폭넓게 변화되기

때문에 형성된 다수의 균열에 의해서 영향을 받는다. 그러므로, 크기를 참작하지 않고 섬유 보강 콘크리트에 대한 단순한 용인기준을 제의하는 것은 곤란하다. 많은 기준들이 최대 파괴 하중 균열이 처음 탐지된 하중, 보의 처짐시에 확대전개된 에너지 등에 사용될 수도 있지만, 선택은 재료의 적용에 좌우되어야 한다.

있지만, 선택은 재료의 적용에 좌우되어야 한다.

Allen(3)에 의해서 진행된 바와 같이 기본적인 재료의 특성으로부터 구성요소를 예측할 수가 있지만 데이터의 조작이 복잡하고 현재에는 특기 적용에 테스트들을 관련시키는 것이 아마도 좀더 만족할 만한 일이 아닌가 한다.

이 연구로부터의 일반적 결론은 섬유와 결정체 간의 부착력은 폴리머가 함유됨으로써 분명히 향상되는데 강섬유는 취성 폴리머 개조 모르타르에 연성을 부가해 줄 수 있다. 그러나 구성요소의 크기의 영향에 대한 적절한 규정 제정없이 기존의 문제에 이와 같은 정보를 곧바로 적용할 수는 없다.

### 3. 갱내 지붕이동 방지를 위한 목재지보공의 섬유 콘크리트 대체

매년 탄층이 추출될 때 형성되어 지붕과 바닥 사이에 발생하는 점진적 발산을 통제하기 위하여 다량의 목재가 갱내에 무모하게 사용되고

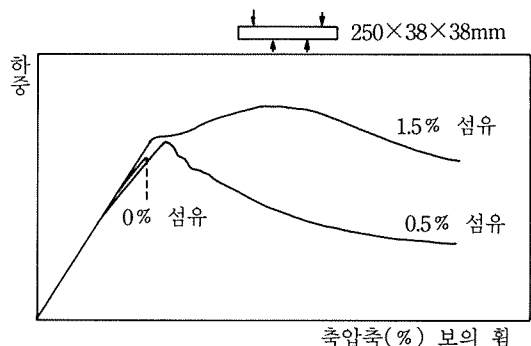
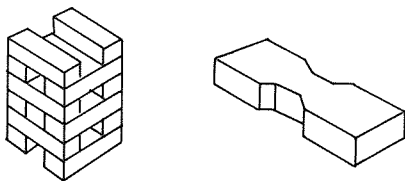


그림1. 강섬유 폴리머 콘크리트보의 휨내력 테스트

있다. 적절한 대응을 위해 하나의 조사가 이루어졌을 정도로 급속한 비용증가와 심각한 목재 품질이 있어 왔다.

인습적으로 목재지보공들이 그림2에서 제시된 바와 같이 직사각형 보목재를 적치하여 침엽수나 활엽수로 부터 형성되어 왔다. 보의 크기는 이음매 두께에 따라 증가되지만 원형적으로 이들 보들은 높이 약 1m 대체재로써 이들 지보공 조립구조가 갱내관계 규정을 만족할 때는 대체재로부터 요구되는 이력을 특기하기 위하여, 이들 지보공 조립구조의 하중/변형 이력을 사용할 수가 있다. 고려되어야 할 추가인자들이 있다. 목재 지보공은 밀폐되고 위험한 장소에서 작업자에 의해 축조된다. 대안방법도 균등하게 관리될 수 있어야 한다. 시스템은 안전해야 하고, 쉽게 손상되어서는 안되고, 부정확하게 조립될 가능성을 배제해야 한다. 시스템의 구성요소는 인력 운반이 유용하고 운반도중 충격손상에 견디어야 한다. 비용도 경제적이어야 한다.

시방서에 관한 가장 진취적 관점은 목재지보공이 초기 높이의 약 반까지 붕괴될 때 관측되는



시공(crib construction) 은장블록(Dog-Bone block)

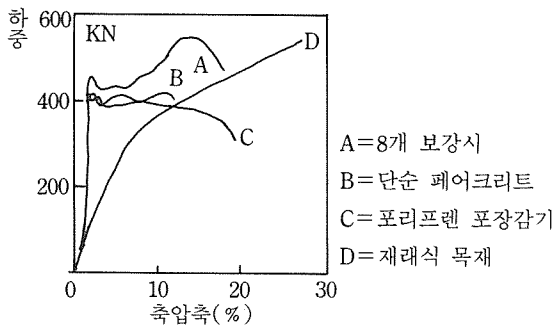


그림2. 페어크리트 은장 크립의 파괴 특징

상승하중 특성(그림2)이다. 이것은 실제로 발산이 지붕과 바닥사이에 생길때 지보공으로 주어지는 점진적인 저항증가가 있음을 의미한다. 다양한 문제해결 방안이 고려되었지만(4) 여기서는 섬유 콘크리트를 함유하는 해결방안들만 고려되어 있다. 상당한 연성요구 조건은 섬유 콘크리트에 대해서 이상적 적용으로 보였지만, 수용되어야 하는 대변형들이 데이터가 즉시 사용될 수 있는 분야 곧바로 벗어나서는 문제를 일으켰다.

첫번째 시행된 테스트에서는 직접적인 목재 대체가 시도되었다. 재료가 붕괴될 때 어느정도 강도를 유지하기 위하여 섬유를 함유한 낮은 밀도의 콘크리트나 몰탈을 사용하는 것이 논리상 옳은것 같다. 이러한 재료의 등급으로 선택된 다양한 페어크리트(Faircrete)\*는 저밀도를 갖고 소요크기와 폴리프로렌섬유 함유와 비교되는 강도를 갖는다.

목재받침이 파괴되면 블록의 중간부는 모서리와 결속되어, 모서리 근처의 은장 블록으로 형성된 4개의 기둥에 의해 주로 구속되어 진다. 목재와 더불어 길이가 긴 섬유는 시스템의 안전성을 함유하지만, 길이가 불과 15mm인 섬유를 함유하는 페어크리트 블록이 사용되었을 때, 섬유 구속이 제거된 범위까지, 곧바로 크랙이 생겼다. 모서리 기둥이 불안정해지고 좌굴하여, 받침 전체가 불과 5% 압축되었을때 붕괴되었다.

38m/m 폴리프로렌 섬유를 함유하는 페어크리트 블록으로 제작된 두번째 받침(Crib)은 개선된 이력을 보여주었고, 피크하중(peak load)에 도달된 뒤에 하중이 계속 하강되는 동안, 단힘은 여전히 1/3이상 압축되면 최대하중의 반값 이상을 전달하고 있었다. 이단계에서, 문제가 해결되는 것은 아니지만, 실험은 아주 장려할 만한 것으로 고려되었다.

받침 지보공의 분명한 특기사항 중의 하나는

註) \*페어크리트(Faircrete) : 극미량의 폴리프로렌 단일 섬유사를 함유하는 특별형태의 건축 콘크리트이다.

각 블록의 조그만 일부만이 하중을 전달한다는 것이다. 고로 블록들은 그림2의 은장형으로 개조되었다.

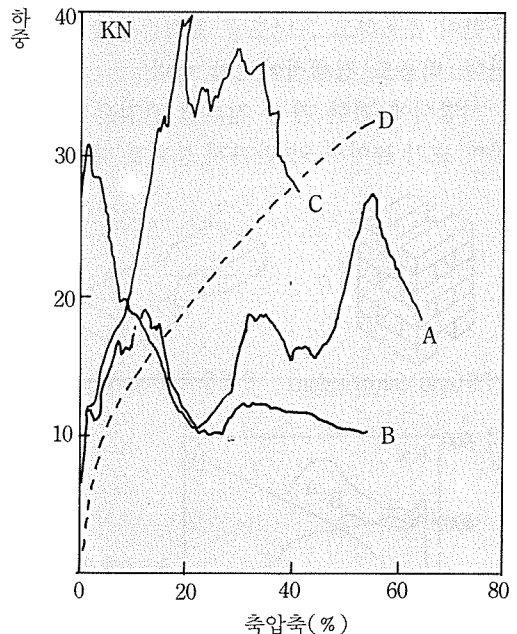
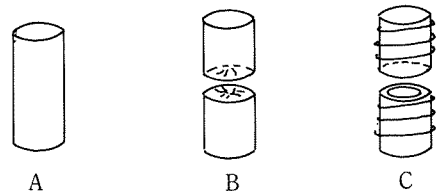
40mm길이의 폴리프로펜렌 섬유를 부피로 5% 함유하여 약 30% 공극율을 갖는 페어크리트로 이들 블록이 제작되었다. 하나는 주물제작으로 구성되었고, 두번째는 이 블록들을 폴리프렌 시트로 감싸서 수축으로 캡슐에 넣어진 효과의 블록이고, 세번째 12B끝이 모인 폴리프로펜렌 이동체인 3선 8코드(3 figure of eight cords)를 조합한 것이다. 이 3선 8코드는 파괴가 진행되고 있을때 블록 측면에서 발생하는 부서짐 감소 목적으로 사용되었다. 구해진, 하중 변형 커브는 그림2에 제시되어있다. 불행히도, 대형 압축이동을 일으킬 수 있는데 사용된 기계(rig)만이 하중을 균등하게 작용시키지 않아 결국 받침은 좌굴 불안정을 갖게 되었다.

그러나, 모두 3가지 변화 요인들에 대해서, 받침이력에 더욱 진전된 개선이 있었고, 하중들은 파괴로 인해 받침높이가 원래값 보다 95~80% 감소됨에 따라 하중이 눈에 띄게 일정하게 되었다. 좀더 강력한 하중 시스템을 갖을 경우 용인 가능성이 더 높은 이력을 뚜렷히 나타냈으나, 만족할 수 있는 수준이 되기 위해서는 더 큰 진전이 있어야 겠다.

저밀도 몰탈이나 콘크리트 폴리프로펜렌을 함유시켜 조합하는 아이디어를 추구하는 것은 논리적일 것 같지만 대변형의 추가구속이 필수적인 것으로 나타났다. 블록 측면에서 발생하는 부서짐 감소를 위한 더 큰 개조문제 또한 고려되었다.

대변형에서 블록의 이력을 대근이 개선시킬 수 있는지 그리고 외피로 부터의 재료 손실에 의해서라기 보다는 오히려 안쪽으로 붕괴되는 현상을 비교적 큰 내적공극이 있는 블록이 갖고 있는지를 알아내기 위하여 실험을 하였는데, 일반적 받침배치가 파괴의 진전에 따라 유지되었다.

이들 아이디어들은 소요공극이 상이한 방식으로 얻어진 상이한 형태의 실린더로 실험하여 조사되었다. 몇가지에는 확장 폴리스티렌 구(Sphere)들이 자갈로 사용되고 다른편으로는 더 큰 내부공동(空洞)이 형성되었다. 후프보강이 연성철 사이설 마(麻)(sisal or hemp)로 이루어졌다. 몇가지 결과들이 그림3에 도시되어 있다. 이들 아이디어들이 조합되어 연속상승 하중을 받아 변형하는 받침제작의 관점에서 블록설계를 적용시킬 수 있을 것 같다.



(A=단순실린더,  
B=절단면에 구멍이 있는 두개의 반절 실린더,  
C=절단면에 구멍이 있고 강선 후프 보강이 된 두개의 반절 실린더,  
D=소요특성)

그림3. 섬유보강 폴리스티렌 자갈 콘크리트 실린더의 파괴 특성

마지막 조사에서 연성철 후프로 보강되었고 내부에 실린더형 공동(空洞)이 형성되어 있는 직사각형 페어크리트 블록으로 받침이 제작되었다. 두개의 속찬 모델받침에 관한 실험결과가 그림4에 도시되어 있다. 실험A에서 받침 종횡비(aspect ratio 가로세로비)는 약 2이고 실험 B에서 종횡비는 3.7로 증가되었다. 받침이 초기 높이의 절반까지 파괴되었을 때 상승하중 하에서 변형된 것으로 나타날 수 있고 실질적 하중강하도 없었고 심지어는 매우 높은 종횡비가 적용되었을 때도 이러한 불안정은 없었다. 콘크리트 받침에 의해 전달된 하중은 항상 최초의 목재형상에 의한 값을 초과하였다.

실험은 또한 좀 더 많은 개방원통이 있는 페어크리트 블록으로 시행되었다. 그림5에서 도시하고 있는 바와 같이 받침에 의해 전달된 하중이 경목재받침에 대한 값 이하로 떨어졌고 하중 내력 손실없이 60% 이상 까지 변형되었다. 더 다짐을 했을 때 하중은 급격히 상승하였다. 그러므로 이 블록형태는 갱내 작업전용에 대해서는

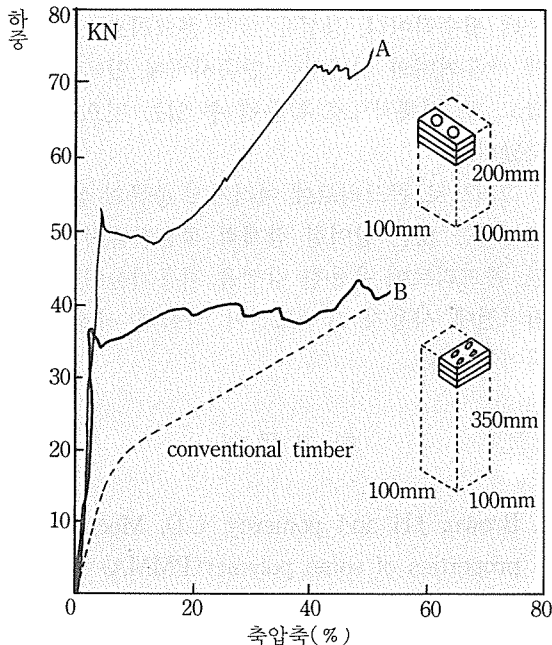


그림4. 속찬 블록시공 모델 받침의 파괴 특성

완전히 만족하는 것으로 보이지만, 블록기하상(Geometry)의 미소변경으로도 목재와 필요시 대체재와의 부합도를 개선시킬 수 있었다.

이 예로서 특별히 요구되는 문제점을 해결하기 위하여 섬유 콘크리트에 관한 주어진 특성들이 얼마나 확실히 이용될 수 있는지를 알 수 있다. 재료 자체로는 요구조건을 만족할 수 없지만, 후프로보강이 압축강도와 변형능력 두가지를 증가시킨다는 추가지식과 내부 공극제공이 블록 강도를 유지시키는데 도움이 된다는 개념은 만족한 해결점에 도달될 수 있게 하였다.

#### 4. WEXHEM 증급제 맨홀 커버

상기 예들에서 두가지 극단적인 경우들이 고려되었다. 한가지 예에서는 아주 강하지만 취성 콘크리트에 연성(ductility)이 주어졌다. 또 하나는 상당한 변형이 전개된 후에 실질적 하중을 차지하는 콘크리트 조합이다. 마지막 세번째에는 간략한 언급이 Hollington(Cement & Concrete Association)에 의해 증급 주철제 맨홀커버에 대해 콘크리트 대체물의 진전에 관하여 이루어졌다.

강섬유 사용의 매력은 힘을 받는 섬유 콘크리트의 파괴하중 증가, 섬유에 의한 균열조정,

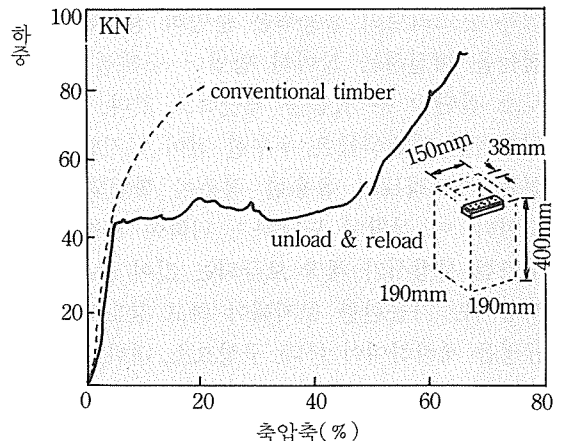


그림5. 속빈 블록시공 모델 받침의 파괴

충격강도의 중요개선 등이다. 더욱이, 콘크리트 대체재의 이력을 판단하는데, 사용되는 전통적인 주체제 커버에 대한 이력 시방서가 있었다(5).

강섬유 중량으로 7%를 넣어 2:1 미세 콘크리트 혼합방법이 원형 유니트(prototype Unit)에 적용되었는데, 이 콘크리트는 휨강도 약 196kg/mm<sup>2</sup>(19.6톤/cm<sup>2</sup>)을 보였다. 맨홀커버에 대한 대체재는 주철제 커버에 대한 기존의 규준에 따른 이 혼합방법으로 제작될 수 있었다.

섬유보강 콘크리트 건본의 흡수 및 노출 실험에서 유니트들은 압착 보강 스템의 높은 내구성을 가짐을 나타내 주고 있다. 맨홀커버 사용은 Agreement Board(6)에 의해 증명되었다.

## 5. 토의(discussion)

여러가지 종류의 섬유가 경화시멘트 페이스트와 콘크리트의 크랙전개를 제한하는 능력을 갖고 있지만 미소량 집중에서도 이들 섬유가 크랙조짐이 생길때의 응집을 현저히 증가시키는지에는 논쟁의 여지가 있다.

단순 콘크리트는 섬유 콘크리트와 비교가 되지 않기 때문에 구조물에는 좀처럼 사용되지 않고 있다. 보강 콘크리트와 비교를 해보면 섬유 콘크리트의 잇점이 축소 의미를 보일 수도 있다. 섬유 콘크리트의 생동력은 분명히 정의된 문제점들을 해결하는 상이한 방법이 구해질 때 비로소 판단될 수 있음을 제안하고 있다. 때때로 전통적인 해결책들은 우수한 점이 있지만 점차 섬유 콘크리트의 유용한 적용이 확립되어 질 것이다. 이 상황에 도달하기 위하여 완전한 요구조건 시방서가 제작 보급되는 것이 중요하다. 시방서는 가능한한 철저해야 하고 강도와 강성 규정을 제시하여야 한다. 구성요소, 내화, 온도와 음향특성, 내구성, 기타 인자들이 소요강도와 강성을 갖는 재료를 불만족하게 만든다.

갱내사용 목재에 대한 대체재의 예에서, 한개

이상 매개변수가 용인되는 해결책이 찾아지기 전에 고려되어야 함을 보여주고 있다. 여기서, 섬유 콘크리트만의 사용은 불충분 하지만, 추가적으로 약간의 내적공극이 형성되면 그리고 연성후프 보강이 사용되면, 급격히 요구되는 시방서에 부합되는 가능성이 더 커지게 된다.

## 6. 결론

콘크리트 이력에 관한 섬유효과의 기존지식을 이용하기 위하여, 특별한 적용에 대한 규정을 아주 엄격히 특기 하는것은 필수적이다. 그리고 나서, 대안적 해결책과 섬유 콘크리트가 활용될 수 있는 분야사이의 비교가 이루어졌다. 섬유가 상이한 요구를 만족시키기 위하여 콘크리트에 특별한 특성을 부여하는데 사용되어 왔던 방식에 관하여 사례들이 주어졌다. 강섬유는 아주 강하고 취성적인 폴리머 개조 콘크리트에 연성을 주는데 사용되었다. 대변형을 일으키는 콘크리트는 페어크리트로 제조되었지만 추가 후프보강과 내부공극의 제공이 갱내규정을 만족시키는데 필수적이다. 강섬유 보강 콘크리트도 주철제 맨홀커버의 시방서를 만족시킴에 있어 나타났고, 또 경제적으로 활용될 수 있는 것으로 나타났다.

그러므로, 콘크리트에 여러가지 종류의 섬유로 보강하는 많은 상이한 잠재적 적용법들이 있지만, 콘크리트에 유용한 강섬유 적용기술이 확립되기전에 사용자 요구조건이 적절히 사전조사되어야 한다.

## 참 고 문 헌

1. Brown, J.H and pomeroy, C.D, Mechanical properties of some polymer(PMMA) modified concretes, Cement & Concrete Association(London) Technical Report(to be Published).

2. Brown, J.H, The failure of glass-fibre-reinforced notched beams in flexure, Magazine of Concrete Research, Vol 25. No 82. March 1973, pp 31-38.
3. Allen, H.G, Stiffness and strength of two glass-fibre-reinforced cement laminates, Journal of Composite Materials, Vol 5, 1971, pp 194-207.
4. Pomeroy, C.D, Taylor, H.P J and Brown, J.H, Concrete products for the replacement of timber for chock construction in coal mines. The development of ductile concrete assemblies, Cement & Concrete Association(London) Technical Report 42.491, May 1974.
5. BS 497 : 1967(Cast manhole covers, road gully gratings and frames for drainage purposes).
6. Agreement Board Assessment Report No 120, Wexham Manhole Cover, 1974. Ⓢ

◎ 낙하물 방지망 개요도

